

Journal of University of Babylon for Engineering Sciences, Vol. (27), No. (1): 2019.

Effect of Heat and Mechanical Treatments on Mechanical Properties of Al-Zn-Mg-Cu Alloys

Fouad El Dahiye

Department of Design and Production, Mechanical and Electric Engineering Collage, Al-University of Baath -Homs-Syria

Mahmoud AlAssaad

Department of Design and Production, Assistant Professor, Mechanical and Electric Engineering Collage, University of Baath -Homs-Syria

Mohamad Yehea Alnefawy

Department of Design and Production, Mechanical and Electric Engineering Collage / Al-University of Baath-Homs-Syria

Yahya.netawy@gmail.com

Submission date:- 20/11/2018	Acceptance date:- 3/1/2019	Publication date:- 20/1/2019
-------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Abstract

In this research the effect of various heat treatments on tensile properties and hardness of Aluminum-Zinc-Magnesium-Copper alloy (7075 Aluminum alloy) was studied, with and without mechanical treatment by extrusion process. The 7075 alloy samples were submitted to two type of heat treatments, T6 heat treatment by artificial ageing samples in 120 °C for 24 h and retrogression and re-ageing (RRA). Where in RRA treatment the first ageing done in 120 °C for 24 h, then the retrogression done in 180 °C for 30 min and re-ageing in 120 °C for 24 h. We got the best results by apply the RRA treatment with extrusion process, where tensile strength was reached to 380 Mpa without extrusion machining process, while reached to 530 Mpa with extrusion process

Key words: Al-Zn-Mg-Cu alloy, Artificial aging, Retrogression and re-ageing, Mechanical treatment, Tensile Properties, Vickers Hardness.

تأثير المعالجات الحرارية والميكانيكية على الخواص الميكانيكية لسبائك Al-Zn-Mg-Cu

فؤاد ضحية* محمود الأسعد** محمد يحيى النيفاوي***

* قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث/ سوريا

** قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث/ سوريا

*** قائم بالأعمال في قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة البعث/ سوريا

Yahya.netawy@gmail.com

الخلاصة

يدرس هذا البحث تأثير المعالجات الحرارية المختلفة على خواص الشد والقساوة لسبيكة ألومنيوم-زنك-مغنيزيوم-نحاس 7075 مع وبدون المعالجة الميكانيكية بالتشكيل بالبتق، حيث تم تعريض عينات من السبيكة 7075 لمعالجتين حراريتين مختلفتين هما المعالجة الحرارية (T6) المعروفة، وذلك بتعتيق العينات اصطناعياً Artificial Ageing في درجة الحرارة 120 °C لمدة 24 h، والمعالجة الحرارية الثانية هي الإرجاع وإعادة التعتيق (RRA) Retrogression and re-ageing حيث تم التعتيق الأول في درجة الحرارة 120 °C لمدة 24 h ثم الإرجاع في درجة الحرارة 180 °C لمدة 30 min ثم إعادة التعتيق في درجة الحرارة 120 °C لمدة 24 h .

وقد حصلنا على أفضل النتائج بتطبيق المعالجة RRA مع عملية التشكيل بالبتق حيث بلغت مقاومة الشد 380 Mpa بدون عملية التشكيل بالبتق وبلغت 530 Mpa مع عملية التشكيل بالبتق.

كلمات الداله: سبيكة ألومنيوم-زنك-مغنيزيوم-نحاس، التعتيق الاصطناعي، إرجاع وإعادة التعتيق، معالجات ميكانيكية، خواص الشد، قساوة فيكرز.

1. المقدمة Introduction

ينتشر فلز الألومنيوم في صخور الأرض بنسبة تفوق كل الفلزات الأخرى، فهو يمثل نحو 8% من القشرة الأرضية، والألومنيوم معدن ذو لون أبيض فضي، وزنه خفيف جداً فوزنه النوعي 2.7 gr/Cm3، أي ما يعادل ثلث الوزن النوعي للفولاذ، وهو موصل جيد للحرارة والكهرباء إذ تبلغ موصليته ثلثي موصلية النحاس، إلا أنه معدن قساوته منخفضة لا تتعدى 40 HB ومقاومته على الشد لا تزيد عن 90 N/mm2 ولهذا فإن معظم التطبيقات والمجالات التي نستخدم فيها الألومنيوم يكون في صورة سبائكية بإضافة عناصر سبائكية للألومنيوم، وإن العناصر السبائكية الأساسية التي تضاف للألومنيوم هي: النحاس Cu، والمغنيزيوم Mg، والمنغنيز Mn، والسيليكون Si، والزنك Zn، ونحصل بإضافة هذه العناصر للألومنيوم على سبائك الألومنيوم الأساسية والتي ترقم حسب جمعية الألومنيوم Aluminum Association كما يلي [1]

1xxx	الألومنيوم النقي (99.0% أو أكثر نقاوة)	5xxx	سبائك الألومنيوم - مغنيزيوم
2xxx	سبائك الألومنيوم - نحاس	6xxx	سبائك الألومنيوم - مغنيزيوم - سيليكون
3xxx	سبائك الألومنيوم - منغنيز	7xxx	سبائك الألومنيوم - زنك
4xxx	سبائك الألومنيوم - سيليكون	8xxx	سبائك الألومنيوم - عناصر أخرى

تتميز كل سلسلة من هذه السلاسل بخاصية تميزها عن باقي السلاسل كالموصلية الكهربائية الممتازة التي تتمتع بها سبائك السلسلة الأولى 1xxx لذلك تستخدم في التطبيقات الكهربائية، والمقاومة العالية جداً كسبائك السلسلتين 2xxx و 7xxx وتستخدم بكثرة في صناعة أجزاء ومكونات الطائرات، أما السلسلة 3xxx فتتمتع بقابلية تشكيل وتوصيل حراري فتستخدم في تصنيع علب

المشروبات الغازية والمبادلات الحرارية، وتتمتع سبائك السلسلة 5xxx بمقاومة ممتازة للتآكل لذلك تستخدم في صناعة السفن، أما سبائك السلسلة 6xxx فتتمتع بقابلية ممتازة للتشكيل بالثق لذلك تصنع منها المنتجات المتعددة ذات المقاطع المختلفة بالثق [2].

درس العديد من الباحثين خواص سبائك السلسلة 7xxx من سبائك الألمنيوم وهي سبائك ألومنيوم-زنك-مغنيزيوم-نحاس، بسبب خواصها المميزة والمناسبة لعدد كبير من التطبيقات وبشكل خاص تطبيقات الصناعات الجوية والفضائية [3]، حيث تتمتع سبائك الألومنيوم عالية المقاومة 7xxx بخواص ممتازة وخاصة بعد تطبيق المعالجات الحرارية عليها كمقاومة شد عالية، وقابلية تشكيل ممتازة، ومقاومة تآكل مقبولة، واحدة من أكثر هذه المعالجات الحرارية أهمية هي معالجات الإرجاع وإعادة التعتيق Retrogression and re-aging (RRA) التي تؤدي لخواص ميكانيكية ومقاومة تآكل بشكل أفضل من معالجة التعتيق الاصطناعي T6 التقليدية، وقد بين ذلك الباحث F. Viana وزملاؤه [4] حيث قاموا بدراسة تأثير المعالجات الحرارية T6 و T7 و RRA على بنية السبيكة 7075 ومقاومتها للتآكل بالتشقق الإجهادي SCC وحصلوا على أفضل النتائج مع تطبيق المعالجة RRA، أما الباحث Adeyemi Dayo Isadare وزملاؤه [5] فقد قاموا بدراسة تأثير معالجة التلدين على خواص السبيكة 7075، وقام الباحث M.F. Ibrahim وزملاؤه [6] بدراسة تأثير زمن المعالجة الحرارية المحلولة على خواص السبيكة 7075.

وكذلك قام الباحث A.F. Oliveira وزملاؤه [7] بدراسة تأثير معالجات T6 و RRA على مقاومة التآكل بالتشقق الإجهادي SCC والقساوة ومقاومة الشد للسبائك 7050 و 7150 وكذلك أعطت المعالجة RRA أفضل النتائج. في حين درس الباحث Hong-ying Li وزملاؤه [8] تأثير التبريد بعد المعالجة المحلولة على خواص الشد للسبيكة 7050، حيث قاموا بتبريد السبيكة بعد المعالجة الحرارية المحلولة بدءاً من درجات حرارة مختلفة وحصلوا على أعلى قيم لمقاومة الشد وإجهاد الخضوع عند السقاية بدءاً من الدرجة 450 C° والتي بلغت على التوالي 491 Mpa و 573 .

وقد درس الباحث Prasanta Kumar Rout وزملاؤه [9] تأثير التعتيق ثنائي المراحل على خواص الشد والقساوة للسبيكة 7017. أما الباحث CHEN Song-yi [10] وزملاؤه فقاموا بدراسة تأثير التعتيق ثلاثي المراحل على متانة ومقاومة السبيكة 7085 للتآكل ولاحظوا زيادة مقاومة الشد في التعتيق الثلاثي بمقدار 5% عن ثنائي المراحل مع تحسين في مقاومة التآكل بالتشقق الإجهادي.

ودرس الباحث M. Esmailian وزملاؤه [11] تأثير زمن معالجة الإرجاع على خواص السبيكة 7055 ذلك في معالجة الإرجاع وإعادة التعتيق RRA، وقد حصل أعلى قيم إجهاد الخضوع $YS=595 \text{ Mpa}$ عند زمن إرجاع 40 min.

وقد لاحظنا عدم تطرق الباحثين في الأبحاث المذكورة آنفاً لتأثير المعالجة الميكانيكية (التشكيل) مع المعالجات الحرارية على خواص سبيكة الألومنيوم 7075 لذلك هدفنا في هذا البحث إلى دراسة تأثير المعالجات الميكانيكية (التشكيل بالثق) والمعالجات الحرارية (التعتيق الاصطناعي T6 Artificial Ageing، والإرجاع وإعادة التعتيق RRA Retrogression and re-ageing) على الخواص الميكانيكية (خواص الشد والقساوة) لسبيكة ألومنيوم-زنك-مغنيزيوم-نحاس 7075.

2. المواد والأساليب Materials and Methods

تم استلام السبيكة 7075 موضوع البحث وكانت على شكل بليت بسماكة [Cm] 12، ويبين الجدول 1 التركيب الكيميائي لسبيكة ألومنيوم-زنك-مغنيزيوم-نحاس 7075.

الجدول (1) التركيب الكيميائي لسبيكة ألومنيوم 7075.

النسب الوزنية للعناصر في السبيكة 7075 (% wt)							
Si	Ti	Cr	Fe	Cu	Mg	Zn	Al
0.06	0.03	0.18	0.24	1.8	2.9	6.7	Balance

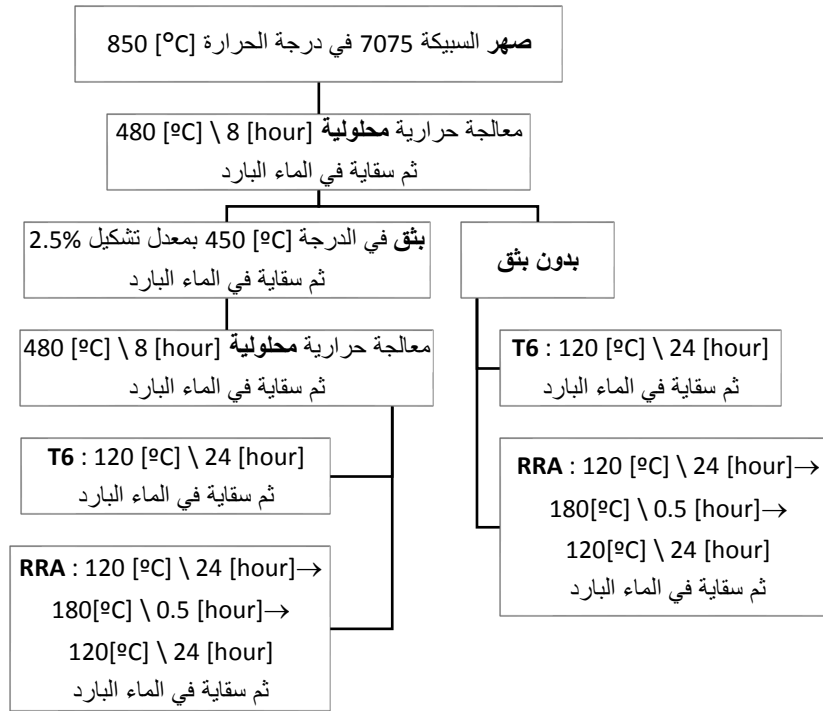
تم صهر كمية من السبيكة 7075 في بوتقة غرافيتية في فرن كهربائي، وقد تمت عملية الصهر عند درجة حرارة $^{\circ}\text{C}$ 850 لضمان الصهر، ثم سُكب المنصهر في قالب فولاذي المبين في الشكل 1 والمعد مسبقاً للحصول على المسبوكات الاسطوانية والتي كانت بقطر 25 mm وارتفاع 150 mm، وقد تم تسخين القالب المعدني قبل عملية الصب إلى الدرجة $^{\circ}\text{C}$ 300 لتلافي التجمد المسبق للمنصهر وللنقل من عيوب السباكة في المسبوكات الناتجة، وأخيراً تم إخراج المسبوكات من داخل القالب بعد تبريده.



الشكل 1 القالب الفولاذي المستخدم للصب .

عُرضت جميع المسبوكات للمعالجة الحرارية المحلولية في درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ 480 لمدة 8 h ثم تمت السقاية في الماء البارد. ثم قُسمت المسبوكات لمجموعتين عُرضت مسبوكات المجموعة الأولى فوراً للمعالجات الحرارية (T6 و RRA) بدون تعريضها للمعالجة الميكانيكية بالبتق، أما مسبوكات المجموعة الثانية طُبقت عليها عملية التشكيل بالبتق لدراسة تأثير المعالجات الميكانيكية ثم سقاية في الماء البارد وبعد ذلك طُبقت المعالجات الحرارية (T6 و RRA) ، وكان معدل البثق % 2.5 إي أن قطر العينات بعد عملية التشكيل بالبتق يكون 10 mm وقد تم بدايةً تسخين العينات وقالب البثق لدرجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ 450 لمدة 30 min وبعد تنفيذ البثق قمنا بسقاية العينات المبتوقة بالماء البارد، ويبين الشكل 2 مخطط يوضح مراحل العمل هذه.

وقد تمت المعالجة T6 بتطبيق التعتيق الاصطناعي في درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ 120 لمدة 24 h ثم السقاية في الماء البارد، أما المعالجة RRA وهي إعادة التعتيق بعد الإرجاع حيث تم التعتيق الاصطناعي الأول في درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ 120 لمدة 24 h ثم الإرجاع Retrogression في درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ 180 لمدة 30 min ثم إعادة التعتيق الاصطناعي في درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ 120 لمدة 24 h، ويبين الشكل 3 الفرن الكهربائي المستخدم لتطبيق هذه المعالجات الحرارية.



الشكل 2 مخطط عام يبين مراحل العمل.



الشكل 3 الفرن الكهربائي المستخدم في المعالجات الحرارية.

3. المناقشة والنتائج Results and Discussion

يبين الجدول 2 مواصفات السبيكة 7075 قبل تعريضها لأي نوع من المعالجات الميكانيكية (التشكيل بالبثق) أو الحرارية (T6 أو RRA).

الجدول (2) مواصفات الميكانيكية للسبيكة 7075 قبل تعريضها لأي نوع من المعالجات.

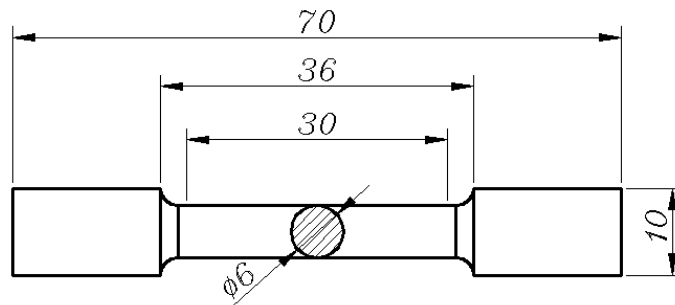
قساوة فيكرز [HV]	إجهاد الخضوع YS [N/mm ²]	مقاومة الشد UTS [N/mm ²]
100	160	180

3.1. خواص الشد

تم إجراء اختبار الشد وفق المواصفة ASTM-B557 عن طريق جهاز الاختبار TINIUS OLSEN H25KS المبين في الشكل 4، ويظهر في الشكل 5 أبعاد عينة الشد المختبرة، وقد تم إجراء الاختبار خمس مرات لكل حالة من العينات وأخذ المعدل لها، فمثلاً قد بلغت مقاومة الشد الأعظمية UTS للعينات المعالجة بـ T6 والمعرضة للبتق - 508.9 - 510 - 511 - 509.3 {512.13 N/mm² فتكون القيمة المتوسطة لهذه القيم 510 N/mm² تقريباً.

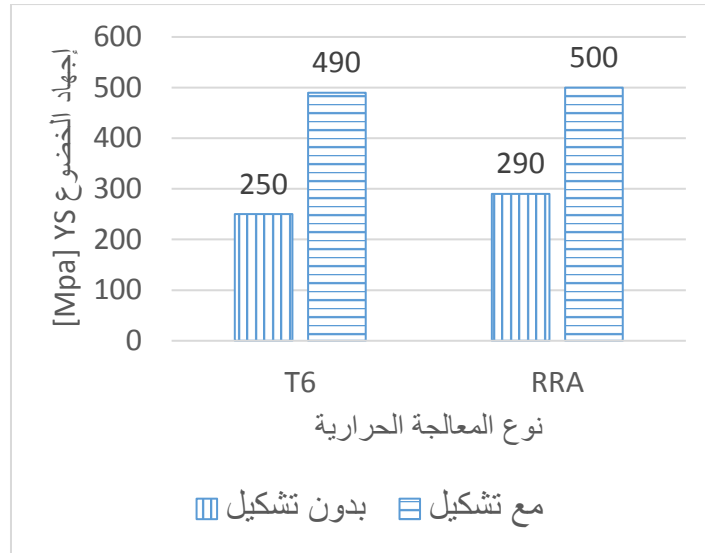


الشكل 4 جهاز اختبار الشد.

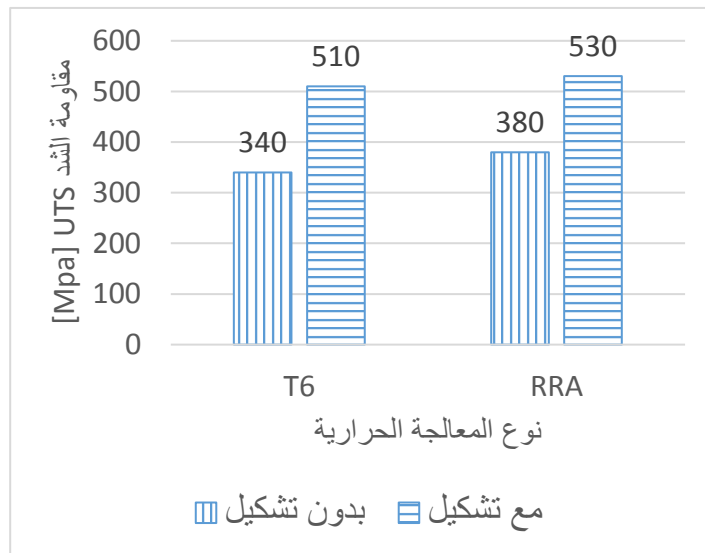


الشكل 5 أبعاد عينة الشد.

ويظهر في الشكل 6 والشكل 7 قيم إجهاد الخضوع (YS) ومقاومة الشد Ultimate Tensile Strength (UTS) على التوالي للسبيكة 7075 عند تعريضها للمعالجة الحرارية T6 و RRA مع وبدون التشكيل بالبتق.



الشكل 6 قيم إجهاد الخضوع للسبيكة 7075 معالجة حرارياً بـ T6 و RRA قبل وبعد التشكيل.



الشكل 7 قيم مقاومة الشد للسبيكة 7075 معالجة حرارياً بـ T6 و RRA قبل وبعد التشكيل.

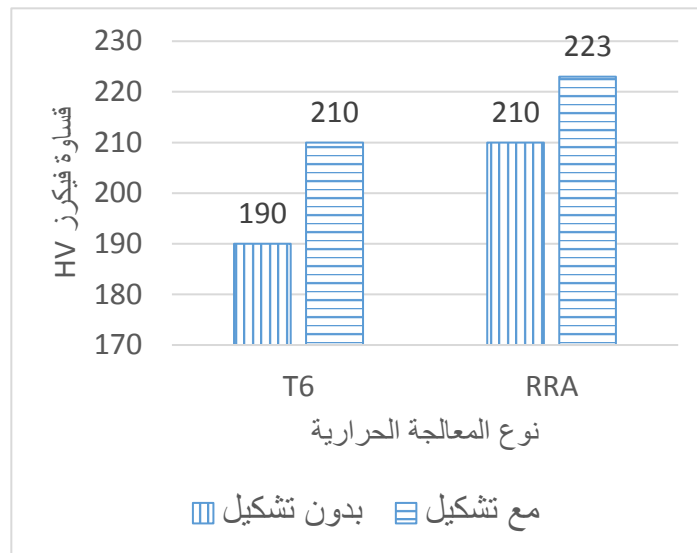
3.2. القساوة

تم إجراء اختبار القساوة وفق المواصفة ASTM-E92 بواسطة جهاز قياس قساوة فيكرز المبين في الشكل 8 وهو من النوع HARTEPRÜFER GNEHM:230 زمن تطبيق الحمل 20 sec والحمل المطبق 4 Kg، وقد أخذت خمسة قراءات للقساوة من كل عينة من مناطق مختلفة لتحديد القيمة المتوسطة للقساوة.

ويظهر في الشكل 9 قيم قساوة فيكرز للسبيكة 7075 معالجة حرارياً بـ T6 و RRA قبل وبعد التشكيل



الشكل 8 جهاز قياس قساوة فيكرز.



الشكل 9 قيم قساوة فيكرز للسبيكة 7075 معالجة حرارياً بـ T6 و RRA قبل وبعد التشكيل.

ونلاحظ من الأشكال 6 و 7 و 9 بأن خواص الشد (UTS و YS) وقساوة فيكرز للسبيكة 7075 عند معالجتها بتطبيق معالجة الإرجاع وإعادة التعتيق RRA كانت ذات قيم أعلى مما كانت عليه عند معالجة نفس السبيكة بالمعالجة T6، حيث كانت قيم إجهاد الخضوع 250 Mpa ومقاومة الشد العظمى 340 Mpa والقساوة 190 HV وذلك عند تطبيق المعالجة T6، في حين بلغت هذه القيم لإجهاد الخضوع 290 Mpa ومقاومة الشد العظمى 380 Mpa والقساوة 210 HV عند تطبيق معالجة RRA. وإن جميع هذه القيم المذكورة كانت بدون تعريض العينات لعملية التشكيل بالبنق حيث نلاحظ بأن تعريض العينات لعملية التشكيل بالبنق أدى بشكل عام لتحسن جميع هذه الخواص لتصبح من أجل المعالجة T6 إجهاد الخضوع 490 Mpa ومقاومة الشد العظمى 510 Mpa والقساوة 210 HV، ومن أجل المعالجة RRA إجهاد الخضوع 500 Mpa ومقاومة الشد العظمى 530 Mpa والقساوة 223 HV.

3.3. الصور المجهرية

للحصول على الصور المجهرية وفق المواصفة ASTM-E3 تم استخدام المجهر الضوئي B-353 Met Optika وبمقدار تكبير 200X حيث سُحِدت سطوح العينات باستخدام جهاز الشد نصف الآلي بورق الشد المائي ذات الدرجات 600، 800،

1000، 1200، ثم صقلت باستخدام معجون الألماس الصناعي 0.25 μm ، ثم تم تخريش سطوح العينات بغمسها لزمن يتراوح بين (10–20) ثانية. في محلول الإظهار Keller's Reagent وهو ذو التركيب التالي [12]:

{1 Cm^3 HF, 1.5 Cm^3 HCL, 2.5 Cm^3 HNO₃, 95 Cm^3 H₂O}

ويبين الشكل 10 الصور المجهرية لعينات مختلفة من السبيكة 7075 ويظهر فيه:

الشكل 10-a عينة من السبيكة 7075 قبل تعريضها للمعالجات الحرارية (T6 أو RRA) وبدون تعريضها للتشكيل بالبنق، وقد احتوت هذه العينة على تشعبات Dendrites أولية للمحلول الصلب الغني بالألومنيوم وشبكة التشعبات الداخلية والمكونات المعدنية الداخلية حول الحبيبات الأولية، وتحتوي على العديد من الحبيبات الناعمة المتساوية والمحتوية على حبيبات متعامدة فيما بينها وقد كان متوسط حجم الحبيبات تقريباً 55 μm .

الشكل 10-b عينة من السبيكة 7075 معرضة للمعالجة الحرارية T6 قبل تعريضها للتشكيل بالبنق، بدأت كثافة الشبكة التشعبية بالتناقص تدريجاً، وأصبحت الأطوار المتبقية صغيرة ومتفرقة بسبب المعالجة الحرارية، كما أن متوسط حجم الحبيبات كان بحدود 50 μm تقريباً.

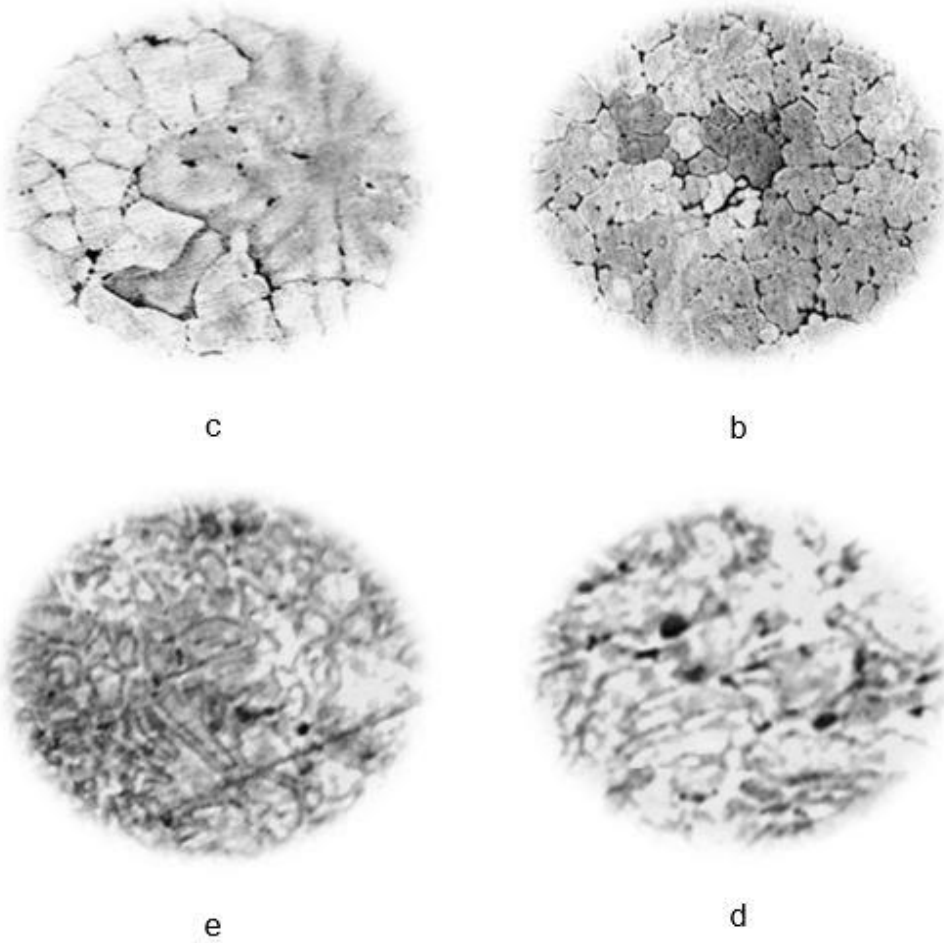
والشكل 10-c لعينة من السبيكة 7075 معرضة للمعالجة الحرارية RRA قبل تعريضها للتشكيل بالبنق، وأصبحت كثافة الشبكة التشعبية أقل من سابقتها، وقد انخفض متوسط حجم الحبيبات إلى 45 μm تقريباً.

الشكل 10-d عينة من السبيكة 7075 معرضة للمعالجة الحرارية T6 بعد تعريضها للتشكيل بالبنق، والشكل 10-e عينة من السبيكة 7075 معرضة للمعالجة الحرارية RRA بعد تعريضها للتشكيل بالبنق ونلاحظ فيها تغير شكل الحبيبات بسبب عملية التشكيل بالبنق.

ويمكن ملاحظة أن المعالجات الحرارية قد أدت لانخفاض الحجم الحبيبي وتنعيم البنية البلورية للسبيكة 7075 وأن الانخفاض في الحجم البلوري بنتيجة المعالجة الحرارية RRA كان أكثر منه عند تطبيق المعالجة T6، وإن هذا التغير الحاصل في الحجم الحبيبي بالإضافة للتغيرات في البنية البلورية والأطوار المترسبة قد أدى لتحسين الخواص الميكانيكية (مقاومة الشد الأعظمية UTS وإجهاد الخضوع YS والقساوة HV) للسبيكة 7075. كما وقد أدت عملية التشكيل بالبنق لتحسين إضافي في الخواص الميكانيكية للسبيكة 7075 بفعل التصليد الانفعالي.



a



الشكل 10 الصور المجهرية بتكبير 200 X لعينات من السبيكة 7075 معرضة للمعالجات الحرارية T6 و RRA قبل وبعد التشكيل.

4. الاستنتاجات Conclusions

1. حسنت المعالجات الحرارية بشكل عام الخواص الميكانيكية للسبيكة 7075 نتيجة التغيرات الحاصلة في البنية البلورية والحجم البلوري والأطوار المترسبة بالتعتيق، وكذلك حسنت المعالجات الميكانيكية بالبتق الخواص الميكانيكية نتيجة التصليد الانفعالي الحاصل في بنية السبيكة 7075.
2. إن المعالجة الحرارية بالإرجاع وإعادة التعتيق (RRA) Retrogression and re-ageing لسبيكة الألمنيوم 7075 حسنت الخواص الميكانيكية لها أكثر مما قد حسنته المعالجة الحرارية T6، حيث حصلنا على القيم العظمى لمقاومة الشد وإجهاد الخضوع والقساوة للسبيكة 7075 عند تطبيق المعالجة RRA، في حين كانت قيم هذه الخواص أقل عند تطبيق المعالجة الحرارية T6.
3. حسنت المعالجات الحرارية البنية المجهرية للسبيكة 7075 حيث أدت لانخفاض الحجم الحبيبي، كما أدت لتقليل كثافة الشبكة التشعبية الموجودة في البنية، وقد كانت كثافة هذه التشعبات عند تطبيق المعالجة الحرارية RRA أقل منها عند تطبيق المعالجة T6.

CONFLICT OF INTERESTS.

- There are no conflicts of interest.

5. المصادر References

- [1] George E. Tot ten and D. Scott MacKenzie, Handbook of Aluminum Volume 7 Physical Metallurgy and Processes, MARCEL DEKKER, INC, 2003.
- [2] TapanyUdomphol, Aluminum and its Alloy, Suranaree University of Technology, 2007.
- [3] K. S. GHOSH and N. GAO, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, vol. 21, 2011, p. 1199.
- [4] F. Viana, A. M. P.Pinto, H. M.C. Santos and A. B. Lopes, "Retrogression and re-ageing of 7075 aluminium alloy microstructural characterization," *Journal of Materials Processing Technology*, no. 92±93, p. 54±59, 1999.
- [5] A. D. Isadare, B. Aremo, M. O. Adeoye, O. J. Olawale and M. D. Shittu, "Effect of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of 7075 Aluminium Alloy," *Materials Research*, pp. 190-194, 2013.
- [6] M. F. Ibrahim, A. M. Samuel, S. A. Alkahtani and F. H. Samuel, "A Novel Solution Heat Treatment Of 7075-Type Alloy," *The Minerals Metals & Materials Society*, pp. 383-390, 2013.
- [7] A.F. Oliveira, Jr., M.C. de Barros, K.R. Cardoso and D.N. Travessa, "Materials Science and Engineering A," *The effect of RRA on the strength and SCC resistance on AA7050 and AA7150 aluminium alloys*, no. 379, p. 321–326, 2004.
- [8] Hong-ying LI, Jiao-jiao LIU, Wei-chen YU, Hui ZHAO and De-wang LI, "Microstructure evolution of Al–Zn–Mg–Cu alloy during non-linear cooling process," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, p. 1191–1200, 2016.
- [9] P. K. Rout, M. M. Ghosh and K. S. Ghosh, "Microstructural, mechanical and electrochemical behavior of a 7017 Al-Zn-Mg alloy of different tempers," *Materials Characterization*, 2015.
- [10] CHEN Song-yi, CHEN Kang-hua, DONG Peng-xuan, YE Sheng-ping, HUANG Lan-ping and YANG Dai-jun, "Effect of a novel three-step aging on strength, stress corrosion cracking and microstructure of AA7085," *J. Cent. South Univ*, p. 1858–1862, 2016.
- [11] M. Esmailian ,M. Shakouri ,A. Mottahedi و S. G. Shabestari" ,Effect of T6 and Re-Aging Heat Treatment on Mechanical Properties of 7055 Aluminum Alloy " ,*International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* ,pp. 1291-1294 .2015 ,
- [12] William F. Gale, Terry C. Totemeier, Smithells Metals Reference Book, 8 ed., Butterworth-Heinemann, 2004.